

太陽観測衛星「ひので」がX線で撮影した日食

宇宙科学最前線

自然が物理学の
願いをかなえるとき
 インターナショナルトップヤングフェロー
 Dmitry Khangulyan

物理学が何であるかは誰もが知っていますが、「物理学者は何をしている人々なのか？」という問いに答えるのは簡単ではありません。まず思い付く答えは、「自然界のありとあらゆる姿を研究する人」ということかもしれません。確かにこの答えは正しいのですが、物理学の真髄を伝えてはならず、物理学がいかに発展するかを理解できないという点で意味のないものです。物理学の発展は、「光」の概念がどう変わってきたかを例にして説明することができます。

昔の科学実験によって光は波であることが明らかになり、それが電磁波という考え方につながりました。しかしその後、光はある条件下では粒子のように振る舞うことが発見され、この粒子は「光子」と

名付けられました。「波」と「粒子」という正反対の性質は量子論の枠組みの中で見事に統一されましたが、2つの概念は現代物理学においてもいまだに広く用いられています。

それは、なぜでしょうか？ 波と粒子の二面性が、あまりに深淵で難解な性質だからでしょうか？ そうではありません。「波」あるいは「粒子」という概念がそれぞれ、(相対論的量子論における説明に比べると) 光のさまざまな性質を極めて簡単に説明できるからです。すなわち、これらの概念は有用な「物理モデル」なのです。この例から非常に重要な結論が得られます。つまり物理学はある単純化された表現方法で「自然」を理解しようとするものであり、物理学者はそのための適切な表現方法、すなわちモ

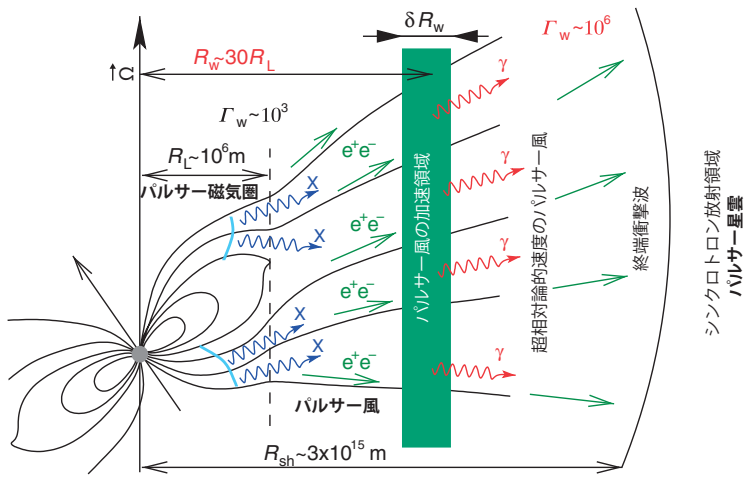


図1 プレリオンの階層構造 (パルサー磁気圏, パルサー風, パルサー星雲) の模式図

パルサー磁気圏の中で電子と陽電子から成る濃いプラズマがつくられ、パルサー風となる(緑矢印)。また、パルサー磁気圏からはX線がパルス状に放射される(青矢印)。その外側の緑色の領域においてパルサー風が加速される。パルサーから0.3光年離れたところに、パルサー風の終端衝撃波が形成され、電子は 10^{15} 電子ボルトまで加速される。この加速された電子は、シンクロトロン放射と逆コンプトン放射により広がった非熱的な放射源、パルサー星雲をつくる。

デルを探しているのです。

このよいモデルを探するという手法は、非常に基本的なものであり、さまざまな実体(「波」「粒子」など)を説明するためだけでなく、さまざまな物理現象を取り扱うときにも欠かすことができません。例えば、「理想的な」「熱い」「冷たい」「量子」といった言葉すべてが、ある意味で物理的モデルです。こうしたモデルの追求によって、我々のまわりで起こる現象の数学的記述が可能になり、その結果、理論的な予測と観測データとの比較ができるようになります。

光における粒子と波という2つの概念が量子物理学という表現方法を生み出したように、新しい実験結果はしばしば物理モデルのさらなる進展を促します。このように物理学は、観測データの収集、妥当と思われるモデルの提案、提案されたモデルに対するほかの実験による検証を繰り返すことによって発展していきます。理想的には、この過程で多くのモデルが却下され、残った少数のモデルがさらに発展していくのです。これはごく当然な過程であり、詳細な実験研究なしに正しいモデルが提案されることはほとんどありません。

しかし、この原則には興味深い例外があります。それは非常に単純化されたモデルによく合う物理的性質を持つ天体現象で、「パルサー」として知られています。

パルサーとは高速で自転している中性子星で、超新星爆発の後に残される天体です。星が一生涯を終えたときにできる天体は、通常2種類あると考えられていました。この分野の先駆者、チャンドラセカールによれば、星の中心核の質量が小さい場合、その星は白色矮星となります。一方、星の中心核が十分重い場合は、超新星爆発を起こしてブラックホールができるとされています。1930年代の後半にオープンハイマーとボルコフは、白色矮星でもブラック

ホールでもない第三の結末があることを指摘しました。つまり、星の中心核がほどほどに重い場合は、つぶれてブラックホールになるほどではないが、残された天体の内部の圧力が高いために電子と陽子が融合してしまう可能性があるということです。こうして中性子から成る極めて小さな星、中性子星ができるはずだという予測がされました。

この純理論的な天体を探そうという試みは、1967年にほかの研究のための観測中に偶然、奇妙な電波源が発見されるまで、まったくありませんでした。その電波源は、非常に短いある一定の周期で信号(パルス)を出すという特徴がありました。その周期は当時あったどの時計より正確なものでした(このことは現在に至っても正しく、一部のパルサーの自転周期は原子時計より安定しています)。すぐに、その挙動は中性子星の概念にぴたりと一致することが判明しました。さらに、それらの主な性質(磁場の強度、自転周期、エネルギー放出量など)すべてが、30年前にオープンハイマーとボルコフが提唱した単純な理論モデルで完全に説明できることが分かりました。

この驚くべき発見をきっかけに電波観測による探査が行われ、多くのパルサーが見つかりました。特に、かに星雲の中に見つかったパルサー「かにパルサー」は、その後の研究に重要な役割を果たしました。かに星雲は、シンクロトロン放射(電子と磁場の相互作用によって作り出される非熱的放射*)をする高エネルギー電子で満たされている広がった天体です。この並外れて明るい天体に対する詳細な研究から、「プレリオン**2」という概念が生まれました。それによって、かに星雲で見つかった広帯域の非熱的スペクトルを説明できます。

プレリオン理論は、3つの異なった領域の存在を必要とします(図1)。①パルサー磁気圏(パルサー近傍領域で、ここでパルス放射が生成される)、②パルサー風(外に流れ出る風で、パルサーからのエネルギーを遠くまで運び、広がった非熱的放射源を形成する)、③広がったシンクロトロン星雲、です。磁気圏と星雲の放射成分は観測データを説明するのに必須ですが、パルサー風からの放射は弱いものと推定されていました。一方、パルサー風の性質は星雲からの放射に強い影響を及ぼしており、その基本的なパラメータを導くことを可能にします。すなわち、かに星雲の性質は、パルサー風が電子・陽電子の対から成り、非常に低温で、バルク運動エネルギー**3が圧倒的に優勢であると仮定すると、うまく説明できるのです。こうして、「磁場の弱い、冷たい

図はすべて Aharonian, Bogovalov, and Khangulyan, Nature, 482, 507 (2012) より

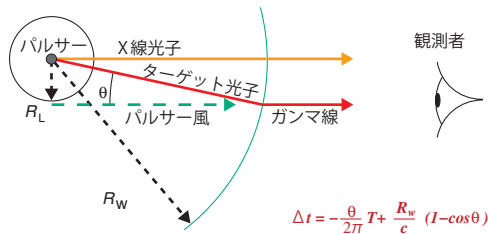


図2 パルサー風における磁気圏パルス放射の逆コンプトン散乱の幾何学的構造

パルサー（左側の黒い点、反時計回りに回転）から放射されたターゲット光子（赤線）は、パルサーからの距離 R_w のところ（緑の円弧）でパルサー風（緑点線）と作用して、逆コンプトン散乱により高エネルギーガンマ線となって観測者に届く。このガンマ線は、パルサーから直接観測者に届く X 線（黄線）に比べ、角度 θ を回転する分だけ早く出発し、回り道をする分だけ遅く届く。 R_w が十分大きくなると、この時間差は小さくなり、両者はほぼ同時に観測者に到達する。

超相対論的^{*4}なパルサー風」のモデルが採用されました。このモデルの説明は非常に複雑で精巧なようですが、実は、かに星雲のパルサー風を説明するモデルとしては最もシンプルなものなのです。事実、磁場の存在、粒子およびエネルギーの供給があれば、この星雲の観測結果を説明することができるのです。

パルサー風が超相対論的速度で吹いていると仮定すれば、パルサー風の粒子の運動エネルギーはその粒子が持つ静止エネルギーをはるかに上回ることができ、星雲を駆動するのに必要な粒子の注入およびエネルギーの供給の両方が一度に説明できます。冷たいパルサー風と弱い磁場の近似は、パルサー風の内部構造がないこと、またパルサー風は磁場の「種」だけを輸送し、その種磁場が星雲内で増幅されることを意味します。もう一つ重要なことは、この「理想的」なモデルが星雲の内側境界に近いパルサー風の性質を説明するために提唱され、パルサー磁気圏の縁のパルサー風形成領域ではパルサー風の性質に制限を与えないことです。

これほど明解なモデルが提唱されたにもかかわらず、その後25年以上、このパルサー風の理解はほとんど進まず、天体物理学の最も謎に満ちた現象の一つでした。研究上の大きな壁となっていたのは、パルサー風が低温であるということでした。パルサー風の電子は超相対論的な速度で動いていますが、それらの電子は磁場とともに移動します。そのため、シンクロトン放射光を一切放射せず、「見えない物質」として振る舞います。パルサー風が出す唯一の放射は、逆コンプトン散乱によるものです。逆コンプトン散乱とは、パルサー風の中で想定される物理条件においては、高エネルギー電子が低エネルギー光子をガンマ線のエネルギー帯にたたき上げる過程です。しかし、その放射を観測することは、非常に困難です。なぜなら、パルサー風の信号を、

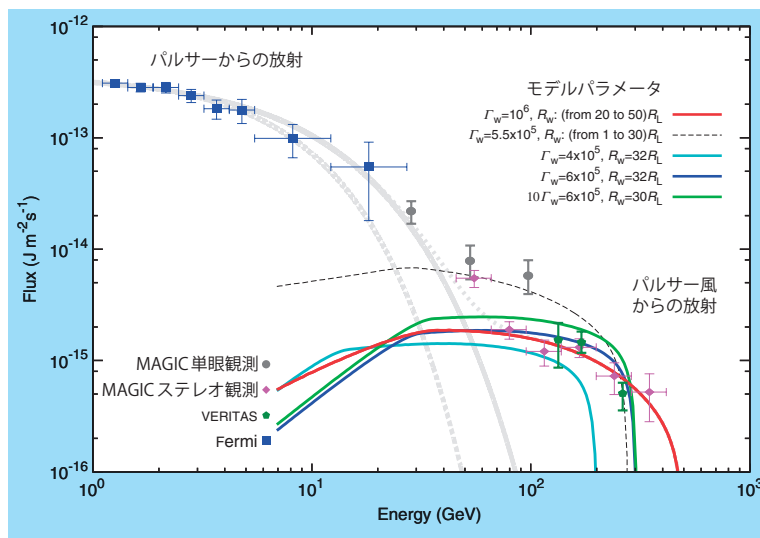


図3 パルサーからのガンマ線放射のスペクトル (MAGIC, VERITAS, Fermi-LAT による測定) をパルサー風の理論モデルによる予測スペクトルと比較した図

それよりはるかに明るいパルサー本体と星雲からの放射と区別しなければならないからです。

しかし、パルサー風の信号には、観測を可能にする重要な性質があります。それは、パルサー風の信号がパルサー風の変動するであろうということです。これは、かにパルサーの場合、パルサー磁気圏でつくられるパルス化したターゲット光子場のフラックスが支配的である、という事実によっています。図2に示すように、ターゲット光子場の時間変動は、パルサー風のガンマ線信号においても維持されるはずで、このことから、パルサー風からの放射を、星雲内で行われるより明るいほかの放射から区別することが可能となります。さらに、かにパルサーのスペクトルと放射強度は容易に測定できるので、観測されるパルサー風の信号は2つのパラメータ、すなわちパルサー風形成場所までの距離とそのバルクローレンツ因子^{*5}にのみ依存します(図2)。重要なことは、パルサー風からの放射スペクトルの形が非常にくっきりと現れたため、磁気圏放射から明確に識別できることです。

最近、かにパルサーからのパルス状の高エネルギーガンマ線が、2つの大気チェレンコフ望遠鏡^{*6}の研究グループ、MAGICおよびVeritasによって報告されました。そのスペクトルは、パルサー風によってつくられた信号であると解釈することが自然で(図3)、パルサー風の性質をかつてない精密さで測定しています。驚いたことに、その結果は、25年以上も前に示唆された「理想的な」モデルにパルサー風の性質が完全に一致するだけでなく、パルサー風がこのモデルが予測していた状態にほぼ瞬間的に(星雲の大きさの10億分の1に等しい距離で)収束することを示唆しています。これは、非常に複雑な現象が最も単純なモデル理論に期待以上に当てはまったという、唯一の例です。(ドミトリー・カングリヤン/日本語訳監修:小高裕和)

異なる色の曲線は、モデルのパラメータを変えたもので、これからパルサー磁気圏やパルサー風の加速について詳しく知ることができると期待されています。

- ※1 非熱的放射
物質の温度に応じて強度が決まる通常の放射(熱放射)とは異なる物理過程による放射。ここでは、高エネルギーの粒子に由来する。
- ※2 プレリオン
パルサーと周囲の星雲(パルサー星雲)をひとまとめにした天体のこと。
- ※3 バルク運動エネルギー
ここでは、パルサー風中の粒子全体がひとまとまりで動くことによる運動エネルギー。
- ※4 超相対論的速度
光速に非常に近い速度(光速を超えているという意味ではない)。
- ※5 バルクローレンツ因子
ローレンツ因子は、速度が光速にどれくらい近いかを表すパラメータ。「バルク」はここではパルサー風全体をひとまとまりとして、という意味。
- ※6 チェレンコフ望遠鏡
宇宙線や高エネルギーガンマ線が地球大気に突入したときに、大気との相互作用で放たれる光を観測する望遠鏡。

特別記事

それぞれの金環日食

2012年5月21日朝、日本列島が金環日食で盛り上がった。相模原キャンパスをはじめ各所で観望会が開催され、早朝から多くの人々が空を見上げた。子どもたちと一緒に見た人、通勤途中に見た人、テレビ画面で見た人……。人それぞれ形が違っても、一斉に太陽を見つめた。天気によきもきさせられたが、一部の地域を除き、雲の切れ間からのぞいた「光のリング」に歓声が沸き起こり、感動の輪が広がった。太陽観測衛星「ひので」は、金環食の時間帯の少し前に日本近くを飛翔し、宇宙から見た部分日食のX線画像を届けた。「それぞれの金環日食」を見てみよう。

○ 相模原キャンパス

雲間からきれいな金環が！

相模原キャンパスでは、平日にもかかわらず朝6時過ぎには行列ができるほど多くの皆さんにお越しいただきました。キャンパス内では、有志の宇宙研スタッフや学生による解説、宇宙教育テレビの公開生放送が行われました。見学エリアの研究・管理棟前の噴水周辺は、ちょうど日が昇る東側が開けており、素晴らしい観測ポイントでした。雲は厚く、時折太陽が顔を出すような状況でしたが、きれいな金環が現れたときには大きな歓声が上がりました。(高木俊暢)

○ 共和小学校

惑星状星雲に埋もれた金環太陽のよう！

宇宙研のお隣にある共和小学校での金環食観望会で、まさに食甚となったとき、奇跡的に雲間から見えた金環太陽に、児童たちは大歓声。写真は、手持ちのデジカメ(オリンパスE-PL1、オート、フィルターなし)で撮ったもの。まるで、惑星状星雲に埋もれた金環太陽のよう！実は、5つ穴のピンホールに色セロファンをのせて、五輪旗を映し出そうと準備していったが、雲に遮られて光量不足で実現できず、残念至極。右下の写真は、前日行った全円太陽でのテスト写真。これが5つの輪になったはずなのに！(名誉教授 奥田治之)



○ 共和小学校

運動会並みの歓声の中……

小雨がちらつく中、相模原市立共和小学校の全校児童737名が校庭に集まり、朝7時15分に観望会がスタートしました。関係者の間には諦めムードが広がっていましたが、奥田治之名誉教授が「残念な天気ですが……」と話し始めたその矢先に、座っていた子どもたちから大きな歓声が上がったのです。雲間から大きく欠けた太陽が見え、子どもたちが一斉に日食フィルターを掲げました。そして運動会並みの歓声の中、美しい金環を見ることができました。(高木俊暢)



○ 宮城県柴田町

天然の減光フィルターで世紀の日食を撮った

宮城県柴田町は、金環食とはならないものの93%を超える部分日食となる。この日食を撮影しようと、強烈な太陽光を減光するD5フィルター(10万分の1)を用意し、事前にテスト撮影をし、日食当日に臨んだ。しかし、雲の多い天気。食の最大の7時40分ごろは、厚い雲に覆われてしまった。ところが、7時47分ごろ、薄雲が天然の減光フィルターとなり世紀の日食の撮影ができた。

(角田宇宙センター 豊川光雄)



○内之浦

撮影器材を前に悲しげにたたずむ

内之浦での金環日食観測は、ご存じの通り悪天候のため、太陽の姿を拝むことができませんでした。10日ほど前より器材の準備に撮影テスト、宇宙教育テレビ向けのネット配信のテストなどを進め準備万端で臨みました。その成果は「太陽と月が織りなす美しいリング」ではなく「撮影器材を前に悲しげにたたずむ下村さん」の写真となりました。テレビで見る金環日食はとても美しく、少し嫉妬を感じるものでした。

(内之浦宇宙空間観測所 荒川 聡)

○浜松市

こんなにきれいな輪っかはもしかして……

金環日食のことは当日の朝、自宅のテレビをつけて知りました。何も準備していなかったで、テレビの映像を見て満足して朝食を取ろうと台所へ行くと、床に輪っかの影がユラユラと。初めはいつもと同じように、ただ朝日が差し込んでいるだけかと思いましたが、こんなにきれいな輪っかほもしかして……と思い写真に収めました。

毎朝差し込む光も大好きですが、木漏れ日がこんなふうになるなんて、幻想的でとても貴重な体験をすることができました。
〔「こもれびキャンペーン」応募者 影山 仁〕



○角田宇宙センター

金環ではなくとも日食を堪能

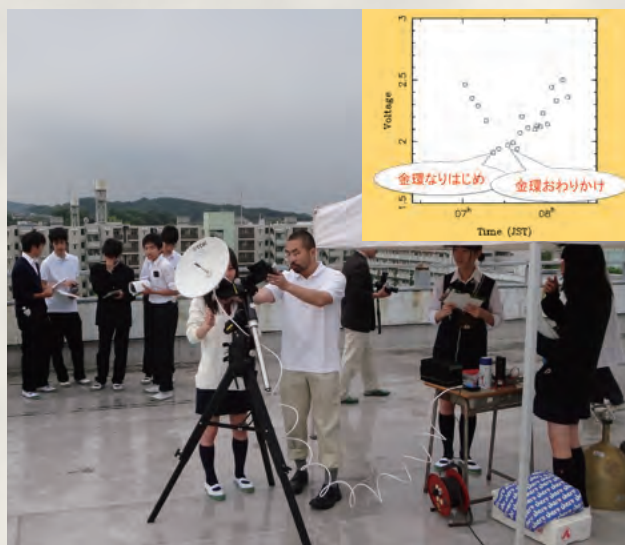
角田宇宙センターでは、金環食帯に入らないため、日食当日の観測会の開催を見送った。その代わりに、展示室において、安全に日食を観察するための講習会を3回開催し、数十名の参加者があった。筆者が主宰する天文サークルの活動拠点である、角田宇宙センターに隣接する柴田町にある太陽の村において、観測会を開催した。食の始まりは太陽の存在すら分からない曇天、時間の経過とともに時折薄雲を透かして欠けた太陽が見える。そのたび、約120人の観客の歓声上がる。日食眼鏡を持っていない人も、安全に観察できる天体望遠鏡を使った投影法により、大勢の人に日食を堪能していただいた。(角田宇宙センター 豊川光雄)



○宇宙

この月の影の下で

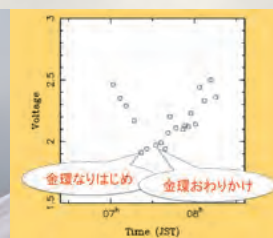
この金環日食の目撃者として衛星を忘れてはならない。地上からは見ることができない様子を宇宙から届けた。時速2万7000kmで地球を周回する「ひので」からは、太陽コロナを背景に黒い月が太陽面をわずか約17分で横切っていく様子がX線でとらえられた(表紙)。準天頂衛星初号機「みちびき」からは、金環日食に合わせてモニタカメラで撮影された地球の写真が届いた。月の影が日本上空のエリアに投影され、やや暗くなっているのが分かる。この月の影の下では、人々の歓声が沸き起こっていたのだろう。(清水敏文)



○大阪・愛媛・神奈川

高校生、電波で金環食を見る

宇宙教育センターからBSアンテナを、大阪府教育センター附属高校(大阪)、済美高校(愛媛)、柏陽高校(神奈川)に貸し出し、高校生が金環食を電波天文観測。液体窒素で受信機雑音補正を行う本格派です。神奈川や愛媛ではくもり空でしたが、大阪では金環食がきれいに見えたとのこと。果たして電波では……? 写真は柏陽高校での観測の様子、グラフは大阪の高校生が取った電波観測データです。(朝木義晴)



バンクーバーの誓い 文部科学大臣科学表彰を受けて

カナダガンが緑の公園に遊ぶ港町で、僕たちはビールを飲みながら、日本の宇宙用半導体集積回路の未来を語り合っていた。「宇宙と民生がともに共用できる集積回路を目指して、日本の優れた民生半導体技術を活用すれば、誰でも、低コストで、短期間に、放射線に耐える高性能の半導体集積回路を日本で開発できるはずだ」と。

2001年7月、僕たち、宇宙研の廣瀬、齋藤と三菱重工の黒田、石井らは、半

導体の放射線効果国際会議に参加していた。昼は米国の研究発表や企業の展示ブースに圧倒されていたが、夜には日本の戦略を熱く語り合った。カナダのバンクーバーの地ビールは、殊のほかおいしかった。

バンクーバーでの誓いを実現するべく、宇宙研では、半導体集積回路に放射線が入射したときに起きる物理現象や電気的な応答について、研究を積み重ねていった。科学衛星で求める集積回路の仕様を明確にし、フライト品を供給するための品質管理方法の問題にも踏み込んでいった。三菱重工では、原子力施設や産業車両など過酷な環境で求められる集積回路の仕様を明確



「宇宙と民生に共通的に利用できる耐放射線性集積回路の開発」で文部科学大臣科学表彰・科学技術賞（開発部門）を受賞。
左から、宇宙研の齋藤宏文氏、廣瀬和之氏、三菱重工の黒田能克氏、石井茂氏。

にして、宇宙と協業できる分野を調査した。そして、明示した市場規模で協力を仰げる日本の半導体製造ラインとの交渉を行った。

シングルイベントアップセットという放射線障害に十分強い集積回路をつくる技術的開発方法、誰でもそれを組み合わせれば任意の回路を設計できる耐放射線性のある標準的ブロックをライブラリとして提供する方法、低コストで安定的な生産体制の維持方法、品質管理・販売方法を含むビジ

ネスモデルを構想し、実現に向けて邁進した。

2003年には、民生技術を利用したものとしては最強の耐放射線性のメモリーが完成した。2010年には、国産プロセッサを内蔵したシステムLSIが完成した。これらは、低価格の大学の小型衛星にすでに搭載されており、さらに小型科学衛星2号機と次期X線天文衛星ASTRO-Hに搭載されることが決まっている。そして、福島原発事故現場での使用も検討されていると聞く。

文部科学大臣科学表彰を受けた2012年4月、霞が関で飲んだベルギービールも、また、ひとしおおいしかった。
(齋藤宏文、廣瀬和之)

「はやぶさ」再突入カプセル巡回展示が終了

社会現象化したかとも思える小惑星探査機「はやぶさ」。夜空に燃え尽きた探査機のイメージが鮮烈ですが、探査機を惑星間空間に送り出す強力なロケットと、自律的に航行できる探査機、大気圏再突入時の灼熱に耐えるヒートシールド、そして着陸のダメージを軽減するパラシュートという、いわば4人の走者によるたすきリレーでした。そして当初予定を大幅に超える7年間をかけてゴールの地



「はやぶさ(8823)」に掛けて表彰された88万2300人目の来場者とご家族(愛知県刈谷市総合文化センターにて)

球へとつないだたすきが、小惑星イトカワの表面物質を収めたサンプラーコンテナです。打上げ時総重量140トンのうち、惑星間空間を旅して無事地表にたどり着いたのは、わずか17kg程度。その中に入っていたごく微量の表面物質は、JAXA相模原キャンパス内に設置された特別な施設の中でエキスパートたちによって回収され、太陽系の誕生の謎を解き明かすための次の新たな旅を始めました。

たすきリレーを担った走者のうち、ロケットと探査機本体は失われましたが、ヒートシールドとパラシュート、そしてサンプラーコンテナからなる再突入カプセルは残りました。惑星間空間を旅して帰還したこれらの実物の持つ迫力に直接触れていただこうと、2010年7月末に行われたJAXA相模原キャンパス特別公開での公開を皮切りに、受け入れ施設の公募・選定を経て、同年11月からは本格的に巡回展示を開始、そして2012年4月3日の愛知県刈谷市での公開をもって全行程を終了しました。最終的には全69会場で、

延べ89万人の皆さまにご覧いただけたようです。ご来場いただいた皆さま、展示実施にご協力いただきました主催者や関係各位にこの場をお借りして感謝申し上げます。

このカプセルは貴重な研究資料でもあり、当面は「はやぶさ」後継機の開発などのための研究へと回されます。その後の予定などについてはJAXA内で議論が進められているところです。研究の成果とともに今後の展示予定についてもご期待ください。

(阪本成一)

植物ホルモンを運ぶタンパク質の働きを調べるCsPINs実験

CsPINs実験（植物の重力依存的成長制御を担うオーキシン排出キャリア動態の解析、代表研究者：東北大学大学院生命科学部 高橋秀幸教授）は、1998年に向井千秋宇宙飛行士がスペースシャトルで行った植物実験の解析結果をもとに、



CsPINsの植物容器に給水する古川宇宙飛行士(出典：JAXA/NASA)

国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟での宇宙実験として2005年に選定された宇宙実験です。

植物ホルモンの分布を制御するメカニズムを解明することで、根の伸長方向など植物の形づくりをコントロールできる可能性があり、地上の植物栽培技術や宇宙の植物工場への貢献が期待できます。よく知られている通り、植物の根は重力方向（下方向）、茎は反重力方向（上方向）へ伸長しますが、地球上での栽培では光や水など重力以外の植物の成長を左右する要因が複雑に絡み合い、真の重力影響を取り出すことが困難です。

今回のCsPINs実験では、長期間にわたって良質な微小重力が得られる「きぼう」船内環境下において、植物ホルモンの分布をコントロールするタンパク質（PIN）の発現に及ぼす重力の影響を検証し、植物の形づくりに重力がどのように影響しているのか、その仕組みを明らかにします。また、根が水分の多少を感知して高水分側に伸びる性質（水分屈性）と、根が重

力を感じて下側に伸びる性質（重力屈性）との、それぞれにおけるPINの量と分布を分離して解析することで、重力と水分のそれぞれに起因する根の伸び方の違いを明らかにすることを目的としています。試料としてはキュウリの種子を用

います。この実験は全8回行われる予定で、2011年4月に最初の実験が行われてから、現時点（2012年5月）までに6回の実験が完了しました。実験が終了したサンプルは地上に回収し、詳細な解析を進めています。すべての実験が完了するのは、2013年後半の予定です。

CsPINsのいくつかの実験では、古川聡宇宙飛行士が「きぼう」内で実験オペレーションを担当しましたが、実験サンプルを固定する作業の際に使用する器具がうまく動作しないトラブルが発生しました。筑波宇宙センターの地上管制員と古川宇宙飛行士による懸命の復旧作業が続けられ、再度の作業によって無事完了したときには、筑波宇宙センターで実験を見守っていた人々の間で拍手が湧き起こりました。一つ一つの実験に実に多くのスタッフが関与していることを実感した瞬間でした。

(東端 晃)

インターネットなどからの寄附金募集を開始

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) は、2012年4月2日より、宇宙航空研究開発を応援して下さるお気持ちを広く受け入れるため、寄附金制度を拡充してインターネットなどから簡易に実施できる寄附金の募集を開始致しました。現在寄附金を募集している事業は、「はやぶさ2」「有人宇宙船/有人打上げロケット」「『きぼう』日本実験棟の利用」「宇宙科学研究」「環境に優しく安全な旅客機」「航空技術研究」「未来技術研究」「地球環境を守るための衛星利用」「イプシロンロケット」「宇宙教育」の10事業です。また、筑波宇宙センター、調布航空宇宙センター、相模原キャンパス、種子島宇宙センターの各展示館においては、募金箱による「はやぶさ2」への寄附も募集しています。5月25日現在、総額で2123万5000円の寄附を頂きました(募金箱への寄附は集計



相模原キャンパスに設置された「はやぶさ2」募金箱

中です)。

皆さまからのご支援は宇宙航空研究開発を応援して下さる力として、JAXAの技術者、研究者の強いモチベーションとなっています。そのお気持ちをありがたく受け止めるとともに、頂いた寄附金は、国からの資金が充てられるJAXA事業の、より確実な実施、より先を行く成果の獲得のために活用させていただきます。

JAXAは「空へ挑み、宇宙を拓く」というコーポレートメッセージのもと、これからも人類の平和と幸福のために役立つよう、宇宙・航空が持つ大きな

可能性を追求し、さまざまな研究開発に挑んでいきます。皆さまにはこのJAXAの活動にこれまで以上のご理解とご協力を賜りますよう、よろしくお願い致します。JAXA 寄附金ホームページ http://www.jaxa.jp/about/donations/index_j.html (相良久美子)

ロケット・衛星関係の作業スケジュール(6月・7月)

	6月	7月
大気球	平成24年度第一次気球実験(大樹町)	
S-310-41号機	フライトオペレーション(内之浦)	
ASTRO-H		フライトモデル単体環境試験(相模原)
BepiColombo		フライトモデル単体環境試験(相模原)
小型衛星		フライトモデル単体環境試験(相模原)

特別公開のお知らせ

日時：2012年7月27日(金)・28日(土) 両日ともに10:00~16:30

会場：宇宙航空研究開発機構 相模原キャンパス

節電のため建物内が非常に暑くなる可能性もございます。飲み物の持参など、十分な暑さ対策を各自でお願い致します。当日の電力状況により、開催時間と開催内容について変更または中止することがあります。

詳細は宇宙科学研究所ホームページでご確認ください。 <http://www.isas.jaxa.jp/>

イプシロンロケットが拓く 新しい世界

第6回

イプシロンロケットの構造系

宇井恭一

イプシロンプロジェクトチーム



イプシロンロケット実証機E-Xの構造系仕様

イプシロンロケット実証機E-Xの構造系開発は、(第一段階として)短期間で確実な開発を進めるため、M-VロケットおよびH-II A/Bロケット(以下、H-II A)ですでに開発済みのコンポーネントを流用または一部改修して流用しています。主要な構造コンポーネントと、それらの新規・改修・流用を区別したものを図1に示します。

1段モータより後端側はH-II Aロケット用ブースタSRB-A,1段モータより先端側はM-Vの2段・3段・4段の既開発品を流用します。一方、新規開発となるコンポーネントは、主に4つあります。まず、2段および3段モータケースです。モータ仕様はM-Vの2段・3段モータを流用しますが、ケースはM-Vで使用していた材料の入手性が悪くなってしまったことを受け、材料や製造工程を見直し、低コストかつ高性能化を図りました(後述)。第3段機器搭載構造は、M-Vではなかった小型液体推進系(『ISASニュース』2012年5月号参照)やH-II A用で開発された電子機器などを搭載するための新しい構造です。衛星分離部は、ペイロードの振動環境緩和のための制振機能が主要開発要素です。最後のフェアリングについては、構造様式を少し工夫して水没するように変更し、船舶の航行安全を妨げる可能性がある分離・着水後漂流した破片の回収作業を不要にします(H-II Aでは回収作業を実施)。また、ペイロードに使ってもらえるスペースを世界のロケットと比較・検討し、M-Vより長くしました。

このようにE-Xの構造系は、既存品の流用と新規開発のメリハリをつけた開発を進めています。現在、開発試験の真っ最中で、2012年11月ごろまでは相模原キャンパス振動試験室、構造試験棟のどちらかで何らかの試験を実施しています(図2は制振機能を確認するための振動試験の様子)。ご協力よろしくお願ひ致します。

低コスト化と高性能化を両立させた2段・3段用固体モータケース

上段モータケースは打上げ能力に対する質量感度が大きいいため、M-Vまでに開発された上段モータケースと同様に高性能化(軽量化)を進めていく必要があります。よって、M-V上段モータと同

様に、フィラメントワインディング(FW)によるCFRP製を採用します。材料枯渇によって変更することになったCFRP用の炭素繊維には、世界最高レベルの繊維強度を誇るT1000G(東レ製)を採用することで、高性能モータを実現します。

さらに、M-Vモータケースの成形方法として採用されていたオートクレーブ成形では、圧力をかけて形を整える際の作業工数が低コスト化を阻むという課題がありました。そこで、圧力をかけない方法、専門用語でオープンキュア(無加圧でCFRPを固めるための高温処理を実施する)成形を採用し、低コスト化も可能にしました。

イプシロンの上段モータケースは、高性能化と低コスト化の両方が実現できた、開発者にとってうれしいコンポーネントになります。図3はPM(プロトモデル)試作をした3段モータケースです。設計通りの非常に良い出来栄となり、開発メンバーもホッと安心です。

乗り心地の良いロケットを目指して

ロケットの構造系担当が実施する仕事は、構造コンポーネントの開発だけではなく、ロケットが打上げから飛翔中に発生する音響・振動・衝撃(それらを機械的環境と呼んでいます)がどの程度発生するのかを予測することもあります。つまり、ロケットの乗り心地を考える仕事です。イプシロンでは、予測するだけでなく、少しでもペイロード(お客さま)にとって乗り心地の良いものにしようと、まず打上げ時の音響環境を小さくする(すなわち音によって発生する振動を小さくしてあげる)ための活動を実施しています。その結果、M-Vでは課題であった音響レベルを、H-II Aと同等レベルまで下げられる見込みが出てきています(活動の内容は2011年6月号、2012年5月号に掲載)。

さらなる進化を目指して

第二段階では、第一段階では手を付けられなかったコストと、途中段階である乗り心地の抜本的な改善になります。すでに、研究は開始されており、第二段階ではまた新しい構造系の姿をお見せできると思います。(うい・きょういち)

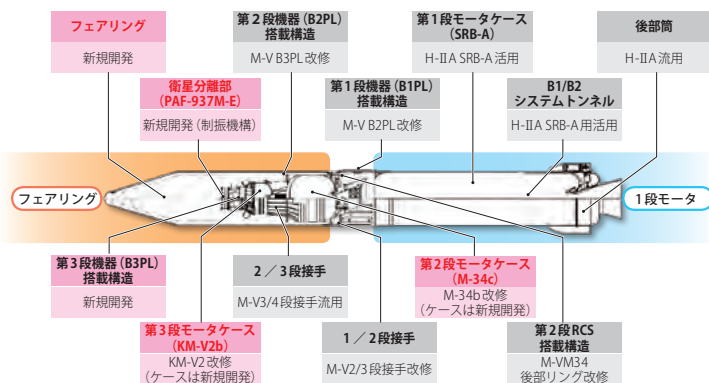


図1 イプシロンロケットの主要な構造コンポーネント



図2 制振機能を確認するための振動試験の様子

図3 PM(プロトモデル)試作をした3段モータケース

海外における Face to faced の交流

宇宙機応用工学研究会 助教

冨木淳史

最終便でたどり着いたドイツ・ブレーメン空港の税関を抜けると、ロビーで吉光徹雄先生が待っていてくださいました。4月下旬のドイツ北部の夜は気温10℃前後と、日本と比べて寒く、外に出た途端ジャケット姿で来てしまったことを後悔しました。ブレーメンは、ウェーザー川を中心に市内の交通は路面電車が発達し、空港から市街地まで楽に移動することができます。ダイムラーやエアバスの工場がある工業都市でもあり、2003年には第54回 IAC (国際宇宙会議) が開催されました。また、グリム童話で有名なブレーメンの音楽隊ゆかりの場所でもあります。市庁舎の片隅には、実際にはブレーメンにたどり着くことのなかった音楽隊の銅像がそっと置かれています。

市内の中心部には、いくつかの教会が立ち並んでいます。ヨーロッパの教会は、大きくきらびやかな装飾の施されたものから古く質素なものまでさまざまですが、短時間で歴史に触れることのできる静かな場所です。

さて、今回の出張の目的は、「はやぶさ2」の小惑星着陸ローバーミッションの一つであるドイツ宇宙航空センター (DLR) のMASCOT チームに、JAXA から提供する搭載通信機のデモンストレーションを行うことであり、吉光先生に同行しました。

DLRはケルンを本拠地として、ドイツにいくつか拠点があります。その中でも比較的新しいブレーメンのDLRは、小

型衛星をハンドリングできるクリーンルームやラボを持ち、ブレーメン大学で宇宙工学を専攻する少数の学生も集まる、宇宙研に似た組織です。

ブレーメン大学の巨大な無重力落下実験棟の周辺には小さなハイテク・ベンチャー企業が集まっており、その一角にDLRはあります。入り口には、ここで開発され今年3月に打ち上げられたばかりの超小型衛星や、移動式運用局の紹介がありました。デモンストレーションの当日はMASCOTの試験モデルの振動試験中で、集まった若い職員たちは食事になると、歩いて10分ほどの大学の食堂を利

用していました。朝食もカフェテリアで取ることができます。近くに大きな大学があるというのは、研究所にとって便利で頼もしいことです。

「はやぶさ2」には3機の小惑星着陸ローバーが搭載される予定です。DLRのMASCOTのほか、JAXAと大学でつくる2機の「ミネルバ2」が搭載されます。小惑星1999JU3に到着すると、3機のローバーは母船から切り離されます。小惑星表面に到達すると、表面を移動しながら母船である「はやぶさ2」と通信し、観測データが地球に送信されます。JAXAで開発した小惑星着陸ローバーの通信システムであるトランシーバは、母船に親機、ローバー側に子機の2つのコンポーネントで構成され、海外から参加するDLRには子機を提供します。地上の身近な通信機に例えると、コードレス電話や無線LANにおける親機 (ホスト) と子機 (端末) と同じ関係です。

小惑星着陸ローバーが母船から分離され、小惑星に着陸して観測データを母船に送信したり、母船からの指令コマンドを受信したりするためには、一連の手順に沿って通信を行う必要があります。普段、私たちはコードレス電話や無線LANの通信手順を特別意識することなく利用しています。それはPCや端末に内蔵されたプロセッサによって手順が自動化されているからです。小惑星着陸ローバーの通信システムを構築運用するためには、ローバーの搭載コンピュータ (OBC) に、この通信手順を実装する必要があります。

したがって通信機のデモンストレーションとは、単に通信できますよ、ということを見せるものではありません。インターフェースの確認から始まって、運用シーケンスを考慮した仕様の確認試験でもあります。今回のデモンストレーションのために、MASCOTの通信担当者や搭載コンピュータのプログラムを担当するドイツ国内のメーカーも含め、数名がDLRのラボに集まりました。2日間かけて行われたデモンストレーションは無事終了しました。

デモンストレーションが行われた夕方、MASCOTのプロジェクトマネージャーからの提案で、DLRの若手職員との懇親会がありました。海外の現場の若手職員と直接交流できる機会は私にとって数少なく、コーヒブレイクや懇親会で彼らと交わす話の内容は、EUやドイツ国内の現状を知る上でとても興味深いものでした。積極的に海外に出てFace to facedで交流する必要性が、まさにここにあります。 (とみき・あつし)



ブレーメン大学にそびえ立つZARMの無重力落下実験棟



糸川英夫先生の思い出

今年は、糸川英夫先生(1912年7月20日～1999年2月21日)の生誕100年に当たります。そこで『ISASニュース』の6, 7月号では、「いも焼酎」の特別編として、東京大学生産技術研究所時代の糸川研究室に所属されていた金澤磐夫さん、中村巖さんにそのころの先生の思い出をつづっていただきます。

ペンシルロケット

昭和28年(1953年)、アメリカの医学物理学会から帰国された糸川英夫先生は、その後1ヶ月ぐらい、留守中の研究成果をご報告したいと待ちわびていた我々糸川研究室一同の前にさっぱり現れなかった。やがて分かったのは、「何か新しい研究を始めるから、何であるかは言わないが、その研究を志望する人は手を挙げて、後で私のところに来てください」ということであつた。

私は何だか面白そうだと思って、とにかく真っ先に手を挙げた。それが、私が大学院特別研究生を辞して当時の富士精密工業(後のプリンス自動車工業、現在の日産自動車)に入社しロケット開発の最初の担当者になることだと、夢にも思わなかった。

さて、私は昭和30年3月11日朝、当時のプリンス自動車工業の荻窪工場から、糸川先生が運転するプリンス自動車の助手席に乗り、国分寺の元機銃試射場の洞窟に向かった。現地に近いとき、当時はまだ珍しかった車内のスピーカーから「東京大学のロケット開発の予算が承認されました」との報道が流れた。糸川先生は、「金澤君、これでロケットの開発がようやく進められることになったよ!」とおっしゃった。

車から降りると、電球を10個余り取り付けた長い板を取り出して、発射場のテーブルの上に載せた。東京大学生産技術研究所のカメラ担当の先生をはじめ、たくさんの新聞記者が集まってきた。発射の前に、「万が一の危険があるから、発射の合図で地面に伏せてください」と、糸川先生からマイクで指示があつた。その後、「10, 9, 8, 7……」の掛け声で、発射のボタンが押された。と同時に、糸川先生はパッと

金澤磐夫

ダイナミック・アート研究所

身を伏せられた。先生のちょうど後ろにいた私も、すぐに後ろ向きになって背を低くした。ところがただ一人、杉浦君という若い社員は、ぼーっと突っ立ったままで、糸川先生と目がちかちか合ってしまった。彼は、私がプリンス自動車工業に入社した少し後に、同じく糸川研究室から入社してきた若手社員であつた。

実はその前日に、ここでロケットの試射を行い、順調に飛行することをすでに確かめてあつて、杉浦君もその試射に立ち会っていたのだ。彼は後々まで、指示通りにぱっと伏せなかったのはつたなかつたと後悔していた。

さて、このような研究開発の進め方は、先輩格の先生方と世間からは大いに批判された。しかし、これは新しい研究開発を進めるときのPR活動であつて、映画でいえば、プロデューサーの役を糸川先生が担ったと考えれば、実に適切な手段であつたといえる。



昭和40年、筆者が上智大学で教職に就くと同時に、自動車の安全機構・建築関係の免震・土質流動化などのテスト装置製作の会社を設立しました。その発会式に超多忙中の糸川先生(右)が、ご参加くださいました。

たといえる。

東大を退官、そして組織工学研究所設立

ある事情で、糸川先生は昭和42年の半ばに東大を退官され、それからの数年は世間には知られざる難しい生き方を余儀なくされ、六本木にあつた先生の事務所を訪れる人は、ほんのわずかとなつてしまった。何かの研究会を開いても、参加者はほとんどいない。コンピュータなどがなかったときに工作機械を電子回路で制御するという講習会を開いたことがあつた。そのときは20人ぐらいの聴講者が参加した。しかし実は有料の参加者は2人で、ほかは当時私が教職に就いていた上智大学の研究室の学生に背広を着させて、サクラの聴講者として動員したのであつた。今となつては忘れられない思い出になつた。

昭和50年『逆転の発想』が大ヒット

上記したような数年の苦節を経て、『逆転の発想』が大ヒットした。昭和50年当時はテレビなども普及していない時代で、この本が130万部のベストセラーとなつたのはすごいことであつた。内容は難しいことを実に分かりやすく解説してあり、今読んでも面白いし、今の時代を予見しているような記述がたくさんある。

この本のヒットで糸川先生は特異な評論家としての地位を確立された。平成11年に86歳でお亡くなりになるまで、80冊余りの著書がある。そのどれもが、いったん開けば、読み終わるまで2～3時間何もできなくなってしまうくらい面白い。「ロケットの糸川」から進んで、21世紀の予言者と言っても過言ではない。目黒駅から100m余りのところにあるダイナミック・アート館の図書室には、その全著書がそろえてあります。(かなざわ・いわお)

「はやぶさ」が教えてくれた新しい世界

宇宙飛翔工学研究系 教授／月・惑星探査プログラムグループ プログラムディレクター

國中均

—— 國中教授は、小惑星探査機「はやぶさ」のイオンエンジンの開発や運用で有名ですが、子どものころから宇宙に興味があったのですか。

國中：天文ファンで、ものをつくったり分解したりすることも好きでした。天体撮影が趣味となり、カメラを改造して望遠鏡に取り付けて撮影し、現像も自分で行いました。でも、天体撮影は高校のときにやめました。お金持ちの友達がいる、高い機材を使って撮影していました。きれいな天体写真を撮る勝負では、絶対に勝てないんです。それで、所属していた天文部で流星の2点観測を始めることにしました。30kmほど離れた地点で同じ流星を観測すると、それが太陽のまわりをどんな軌道で回っていたのかが分かります。観測に適した場所を探したり、泊まる宿の人と交渉したり。私は2010年に、流星となって帰還した「はやぶさ」のカプセルを回収しにオーストラリアへ行きましたが、昔から同じようなことをやっているなど(笑)。

—— 大学は、京都大学の工学部に進学されました。

國中：地上で星を見ているよりも宇宙に出掛けていく探査機が面白いと思うようになり、航空工学科に進んだのですが、基礎的な勉強ばかり。学部4年生のとき、京大の先輩を頼って東京大学の駒場キャンパスにあった宇宙研を見学しました。

—— 宇宙研の印象は？

國中：ここはすごい！まさに宇宙への扉が開かれている現場だ、と感じました。私は東大の大学院に進み、宇宙研で電気推進の研究をしていた栗木恭一先生の研究室に入りました。貧乏な研究室だったので(笑)、自分で設計図を引いて、毎日油まみれになりながら金属加工を行い、いろいろな装置を工夫してつくりました。私にはそれが楽しくて仕方ありませんでした。

将来の惑星探査に役立つような電気推進エンジンをつくらう、というのが栗木先生の方針でした。私は宇宙研に就職した1988年ごろから、独自の電気推進方式を提案し、開発を進めました。それがマイクロ波放電式イオンエンジンです。何とか目標とする性能に達し、念願かなって宇宙研の探査機に搭載することができました。しかも、その探査機「はやぶさ」



くになか・ひとし。1960年、愛知県生まれ。工学博士。1988年、東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年、宇宙科学研究所助手。2005年、教授。2011年より現職。

が、小惑星イトカワからサンプルを持ち帰ってきてくれた。これほど幸せなことはありません。

—— 現在、サンプルの分析が進められています。

國中：小さな砂粒からそんなことまで分かるのか、と驚くばかりです。世界中の科学者たちが分析に手を挙げ、新しい世界を大きく広げてくれています。うれしい限りです。小惑星に行っても何も新しいことは分からないよ、という人もいたようですが、「はやぶさ」が撮影したイトカワの写真やサンプルにより面白いことが次々と分かり、欧米も小惑星探査に乗り出しました。「はやぶさ」が小惑星探査の幕を開いたのです。誰も行ったことのない場所へ行き、誰も見たことのないものを見ることで、予想もしなかった新しい世界が拓く。そのことを私は「はやぶさ」から教わりました。

—— これからの夢は。

國中：研究室では、学生たちと一緒に新しいエンジンの開発を進めています。将来は、木星の衛星エウロパに探査機を送り込んでみたいですね。エウロパの表面を覆う厚い氷の下には海が広がっていて、生命が存在するかもしれない、といわれています。厚い氷を突き破り、海中を潜航して生命を探す探査機。考えただけでもワクワクします。

もう一つの夢は、有人惑星探査です。火星などへの有人探査が、いずれ国際協力で始まるでしょう。そのとき技術や人材、経験の蓄積がなければ、日本は参画できません。日本は国際宇宙ステーションで、世界から信頼を得るだけの実績を挙げてきました。その力を着実に発展させていけば、有人惑星探査でも日本は中核的な役割を果たすことができるでしょう。

研究者は、研究すること自体が楽しくて、新しい知識を蓄積するだけで満足してしまうことがあります。しかし、少なくとも宇宙工学者は、誰も行ったことのない場所へ行き、誰も見たことのないものを見るためのものづくりを行うことで、新しい世界が大きく広がるように努力すべきだと思います。

ISAS ニュース No.375 2012.6 ISSN 0285-2861

発行／独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1

TEL: 042-759-8008

本ニュースは、インターネット (<http://www.isas.jaxa.jp/>) でもご覧になれます。

デザイン／株式会社デザインコンピビア 制作協力／有限会社フォトンクリエイト

編集後記

季節外れの台風一過。超光速ならぬとも、強風で飛び雨粒に悩まされつつ校正刷りで読んだ日食がもう懐かしい思い出です。次に日本で日食が見られるときには、どんな記事が『ISAS ニュース』に載っていることでしょうか。(山村一誠)

*本誌は再生紙(古紙100%)、植物油インキを使用しています。

R100
古紙配合率100%再生紙を使用しています

